

Cours de :
Chauffage et Climatisation
Dr Younes CHIBA
Université Yahia Farés de Médéa
Niveau : L2 et M1
-Génie Climatique
-Génie Mécanique : Energétique

Références bibliographiques

1. Rietschel H., Brabbee K., Traité de Chauffage et de Ventilation, Beranger, 1965.
2. Jedidi M., Benjeddou O., La thermique de bâtiment, Dunod, 2016
3. Plusieurs sites web

Chapitre 1. Rappel sur le transfert de chaleur

Le transfert de chaleur s'effectue en trois modes :

1. Conduction
2. Convection
3. Rayonnement

1. Conduction

La chaleur transmise par contact entre les molécules sans déplacement de la matière, le flux de la chaleur est déterminée selon la loi de Fourier.

Pour un régime permanent est le flux de chaleur est donné par la formule suivante :

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot S \cdot (t_1 - t_2) \quad (1)$$

Avec :

Q : flux de chaleur transmis par conduction en (Kcal /h).

λ : Coefficient de conductivité thermique en (Kcal/h.m.°C).

δ : Épaisseur de la paroi en (m).

S : surface d'échange en (m²).

t_1, t_2 : température des corps chaud et froid en (°C).

2. Convection

Le transfert de chaleur s'effectue entre un corps solide et un fluide, le flux de chaleur est donné par la loi de Newton.

$$Q = h \cdot S \cdot (t_1 - t_2) \quad (2)$$

Avec :

- Q : flux de chaleur transmis par convection en (Kcal/h).
- h : coefficient de convection en (Kcal/h.m.°C).
- t_1, t_2 : température du corps solide et fluide en (°C).

3. Rayonnement

Le transfert de chaleur par rayonnement s'effectue par des phénomènes électromagnétiques entre plusieurs corps sans support matériel, la quantité de chaleur rayonnée est déterminée par la relation suivante :

$$Q = \alpha_r \cdot S \cdot (t_1 - t_2) \quad (3)$$

Avec :

- Q : quantité de chaleur rayonnée en (Kcal/h).
- α_r : coefficient d'échange superficiel par rayonnement en (Kcal/h.m².c).
- t_1, t_2 : températures de surface de la paroi et du fluide en (°C).

Généralement il existe cinq lois de rayonnement :

1. Loi de Kirchhoff
2. Loi de Planck
3. Loi de Stephan Boltzmann
4. Loi de Lambert
5. Loi de Wien

Expression de coefficient global de transfert de chaleur

Le coefficient global de transmission de chaleur d'une paroi plane comportant une couche ou plusieurs couches nommée (K) se détermine par la formule suivante :

$$K = \frac{1}{R_{th}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (4)$$

Avec:

- R_{th} : résistance thermique de la paroi en (hm²°C/Kcal)
- α_i, α_e : coefficient de transfert de chaleur superficiel intérieur et extérieur respectivement en (Kcal/h.m².°C).
- e_i : épaisseur de la 1^{ème} couche en (m).
- λ_e : conductivité thermique de la 1^{ème} couche en (Kcal/h.m.°C).

Chapitre 2. Condensations

Lorsque l'air humide est en contact avec les parois chaudes dont la température est inférieure à sa température de rosée, il se produit, sur les parois des condensations ; superficielles (sur les surfaces des parois) ou dans la masse (à l'intérieure des parois)

1. La condensation superficielle

La condensation superficielle se manifeste sur les surfaces des parois des locaux chauffés sous forme d'un film liquide continu ou des gouttelettes d'eau, la condensation superficielle est vérifiée à l'aide de la relation suivante :

$$T_{si} > T_r \quad (1)$$

Avec :

- T_{si} : température superficielle de la paroi intérieur du local en (°C)
- T_r : température de rosée en (°C)

2- La condensation dans la masse

La condensation dans la masse peut aussi se produire à l'intérieure des parois complexes, si celle-ci est perméable, la pression de vapeur étant plus élevée à l'intérieure qu'à l'extérieure, il se produit une migration de vapeur à travers les couches perméables, lorsque la vapeur arrive dans une zone où la température est inférieure au point de rosée elle se condense. Afin de déterminer la présence ou l'absence de la condensation dans la masse (interne), on fait l'appelle au diagramme de Glaser qui est basé sur une comparaison entre l'évolution de la pression partielle de vapeur notée P_p est celle de la pression de saturation notée P_s lors de la migration de la vapeur de l'intérieur vers l'extérieur.

- $P_p < P_s \Rightarrow$ il n'y a pas de condensation interne.
- $P_p > P_s \Rightarrow$ il y a le risque de condensation interne.

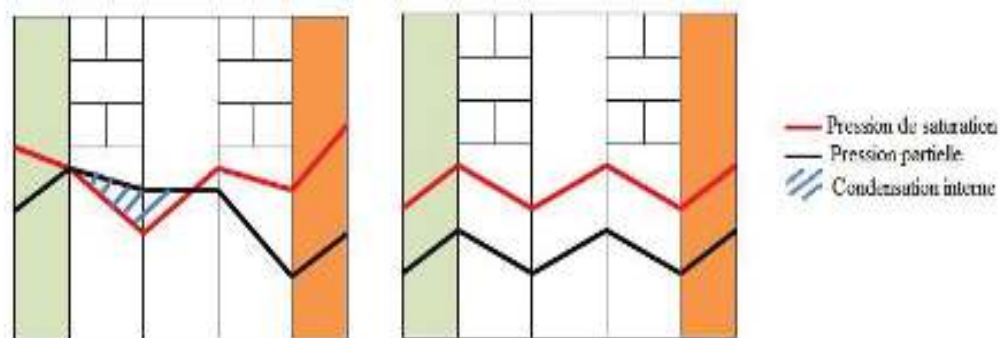


Fig.1. Diagramme de Glaser

La pression saturations est déterminée en fonction des températures à l'interface des parois composites.

La pression partielle de vapeur « P_p » aux interfaces donnée par des formules suivantes :

$$P_{p\text{int}} = P_{p\text{int}} + \frac{\frac{e_i}{\pi_i}}{\sum_i^n \frac{e_i}{\pi_i}} \Delta P \quad (3)$$

$$P_{p\text{int}} = \varphi_{\text{int}} P_{p\text{int}} \quad (4)$$

$$P_{p\text{ext}} = \varphi_{\text{ext}} P_{p\text{ext}} \quad (5)$$

Avec, π : Perméabilité de la paroi

Les résistances à la diffusion de la vapeur d'eau pour les couches constituant les parois sont déterminées à l'aide de la loi de Fick. Donc en fonction de ces données on peut tracer le diagramme de Glaser qui représente la variation de pression de saturation et partielle en fonction de l'épaisseur de la paroi.

Pour éviter la condensation dans la masse il faut prévoir toujours que la courbe des pressions partielles reste au-dessous de celle de la pression de saturation.

3. Etude de la résistance thermique minimale des parois

Un bâtiment isolé thermiquement comporte plusieurs avantages comme l'économie d'énergie et un bon confort thermique. On peut réaliser ces conditions d'après la vérification de résistance thermique d'une paroi par rapport à la résistance minimale de celle-ci:

$$R_{th} > R_{min} \quad (6)$$

La résistance minimale est donnée par la relation suivante :

$$R_{min} = (t_i - t_e) / \alpha_i (t_i - t_r) \quad (7)$$

Chapitre 3. Les déperditions calorifiques

Pour déterminer les besoins calorifiques d'un local, il existe plusieurs méthodes. Dans toutes ce qui suit on utilise la norme Allemande pour calculer les déperditions calorifiques.

Généralement, on distingue deux types de déperditions :

1. Déperditions par transmission

Les déperditions calorifiques par transmission sont dues à la différence de température entre l'air extérieur et l'air intérieur. A partir des déperditions par transmission on obtient les besoins calorifiques correspondants en multipliant les déperditions par transmission par coefficient de correction :

$$Q_{tr} = Q_0 \cdot Z \quad (1)$$

Avec :

- Q_{tr} : besoins calorifiques par transmission en (Kcal/h)
- Q_0 : perte calorifique par transmission en (Kcal/h)
- Z : coefficient de majoration (%).

Et :

$$Q_0 = KS(t_i - t_e) \quad (2)$$

Avec :

- K : coefficient global de transmission de chaleur de parois en (Kcal/h.m².°C)
- S : surface de paroi considérée en (m²).
- t_i, t_e : température intérieur et extérieur respectivement en (°C).

Et :

$$Z = I + Z_u + Z_h + Z_a = I + Z_d + Z_h \quad (3)$$

Avec :

- Z_u : majoration pour interruption d'exploitation en (%)
- Z_h : majoration pour l'orientation (%)
- Z_a : majoration pour compensation de surfaces extérieures froides (%)
- Z_d : groupement de Z_a et Z_u en fonction du coefficient (D) représentant la perméabilité thermique de l'enveloppe du local considéré, elle donné par :

$$D = Q_0 / S_t (t_i - t_e) \quad (4)$$

Avec :

- S_t : surface de l'enveloppe du local en « m² »

2. Déperditions par ventilation

L'air qui pénètre à l'intérieur d'un local sous l'effet de vent à travers les joints des portes et les fenêtres fermées, dépens des zones non étanches, aux infiltrations provoquées par le vent et de différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur. Les besoins calorifiques pour compenser les pertes par ventilation peuvent être calculés par relation suivante :

$$Q_v = \sum (al)_a . R . H . (t_i - t_a) Z_e \quad (5)$$

Avec :

- Q_v : déperdition par ventilation en (Kcal/h)
- a : la perméabilité des fenêtres et les portes au vent.
- L : Périmètre (m)
- R : caractéristique du local.
- H : caractéristique de l'immeuble.
- Z_e : facture de majoration pour les fenêtres d'angle.

Ces constantes sont déterminées à l'aide des tableaux.

Chapitre 4. Les corps de chauffe

Le radiateur a été découvert en 1855 par Franz SanGalli, un Allemand né en Italie et vivant en Russie. Il breveta son dispositif en Allemagne ainsi qu'aux États-Unis, peu après le radiateur devient l'équipement standard de chauffage dans les nouvelles constructions.

1. Convecteur

Le convecteur est un appareil de chauffage utilisant le principe de convection naturel pour réchauffer l'air ambiant. Sa structure est simple : il s'agit un caisson métallique avec une ouverture dans sa partie inférieure et une autre dans sa partie supérieure. Dans ce caisson une résistance électrique sert à chauffer l'air. L'air froid entre par le bas, est chauffé par la résistance et ressort par le haut (l'air chaud "monte").

Les convecteurs, ne sont pas des radiateurs car au lieu de chauffer une pièce par émission d'un rayonnement infrarouge (perçu comme une chaleur), ils chauffent physiquement l'air qui les traverse. Cet air chaud, plus léger remonte par convection et s'installe alors dans la pièce un courant d'air (très léger) qui monte du convecteur, longe le plafond, se refroidit, descend le long du mur opposé, longe le sol et repasse dans le convecteur. En parallèle de ce circuit, l'air chaud se diffuse aussi dans la pièce. Les convecteurs sont le plus souvent électriques et fonctionnent par effet Joule : un courant électrique passe dans des résistances qui chauffent l'air.

2. Les radiateurs

Les radiateurs ont pour but de chauffer un local et le maintenir à une certaine température de confort. Le radiateur est un échangeur de chaleur utilise simultanément la convection et le rayonnement pour diffuser la chaleur. Il est équipé d'un organe de réglage et d'un robinet manuel ou thermostatique, ce dernier permet de réguler la température du local.

Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'un radiateur est basé sur les points suivants :

- transférer un maximum de chaleur du fluide vers son environnement, en optimisant les formes des surfaces de contact fluide caloporteur-paroi et paroi-environnement, afin de maximiser les échanges de chaleur et minimiser le volume du radiateur ;
- posséder une inertie thermique élevée permettant d'accumuler beaucoup de chaleur et de la relâcher lentement afin de chauffer continûment son environnement. Dans le cas

contraire, une pièce deviendrait très chaude lorsque la chaudière fonctionne et très froide lorsque la chaudière est arrêtée ;

- utiliser un liquide possédant une capacité thermique importante, afin de limiter la baisse de la température du liquide entre la sortie de la chaudière et le radiateur, et permettant d'avoir un débit plus faible (moins de chute de pression). Ceci peut être réalisé, entre autres, en minimisant la quantité de bulles d'air dans l'eau afin d'optimiser la surface d'échange liquide caloporteur-interface (ces bulles ont aussi tendance à faire du bruit lorsqu'elles passent dans les tuyaux). Faire entrer l'eau par le bas du radiateur permet de le remplir lentement et de faire monter l'air vers le haut du radiateur et le tuyau de sortie et le robinet de purge. L'air accumulée en haut du radiateur devra être évacuée en desserrant la molette de raccordement en haut du radiateur (et en la resserrant dès que l'eau suintera). Parfois, la purge est automatique et se fait au niveau de la chaudière.
- éviter que les saletés ne s'accumulent au bas des radiateurs n'obstruent les tuyaux en faisant entrer le fluide caloporteur par le bas ce qui permet que les grosses saletés décantent plus vite que l'eau ne les soulève et arrivent donc moins facilement dans les tuyaux ;
- être éteint/allumé et réglé en puissance à l'aide du robinet en sortie de radiateur (en haut) à tourner à la main (tourner dans le sens des aiguilles d'une montre ferme le radiateur). Il peut parfois s'agir d'un Robinet thermostatique ;
- assurer un chauffage homogène dans toute la maison en dépit de la chute de pression grâce au robinet, ou vis réglable, permettant de faciliter ou de freiner l'entrée de l'eau dans le radiateur. Resserrer la vis des radiateurs proche de la chaudière permet d'éviter que toute l'eau du circuit ne passe par le radiateur et ne court-circuite toute la maison. Ouvrir la vis du radiateur en bout de circuit (et donc avec peu de pression) permet de faciliter la rentrée de l'eau (et donc le chauffage) dans le radiateur.
- bloquer les entrées d'air froid d'une pièce en choisissant un emplacement favorisant les échanges thermiques entre le radiateur et son environnement. Ainsi, l'une des raisons pour lesquelles les radiateurs sont fréquemment placés sous les fenêtres est que cela permet d'augmenter le phénomène de convection naturelle, mélangeant l'air froid à l'air chaud ;

3. Chaudière

Une chaudière est un réservoir contenant un Liquide caloporteur et pourvu d'un dispositif de chauffage le foyer dans le cas du bois et du charbon et d'un bruleur pour le fioul ou le gaz. Son but est de produire et stocker de l'énergie thermique dans ce liquide et d'utiliser cette énergie en action mécanique par ex : locomotive, navire ou a des fin de chauffages de locaux. Le liquide chauffé est transporté avec tuyauteries jusqu'au lieu d'utilisation. Le liquide (**chaudière a tube d'eau**) ou la vapeur (**chaudière à tube de fumée**) produite sort par une tuyauterie fixée sur sa partie haute et revient par une autre tuyauterie fixée sur sa partie basse après avoir circulé et s'être refroidi.

Types

On peut distinguer les chaudières essentiellement par leur architecture interne

1. à tube de fumées

C'est historiquement le premier type de construction, les gaz résultants de la combustion dans le foyer, circulent ensuite à travers la masse du caloporteur, le plus souvent de l'eau au moyen de tubes, avant d'être évacués par la cheminée. Les premiers modèles utilisait une circulation verticale, plus facile à réaliser, du fait de la convection des gaz, mais ensuite, on réalisa des chaudières avec un arrangement horizontal, plus adaptées, à l'utilisation pour le chemin de fer ou la navigation.

2. à tube d'eau

Dans cette construction, c'est le caloporteur qui circule dans les gaz de combustion. L'avantage de cette formule est en particulier la sécurité de ne pas avoir de grandes quantités d'eau dans la chaudière même, qui pourrait en cas de rupture mécanique, entraîner une création explosive de vapeur. Elles furent qui plus est fréquemment équipées de surchauffeur, qui laissait circuler la vapeur dans la partie haute des gaz, augmentant par conséquent la température de celle-ci à pression constante.

Les chaudières peuvent utiliser différents combustibles et/ou énergies : (bois, charbon, fioul, gaz, électricité...) Pour les chaudières utilisant un combustible, la circulation des gaz de combustion peut être naturelle (par convection naturelle) ou forcée (ventilateur)

3. à circulation forcée

Dans ce type de chaudières, la circulation de l'eau dans les tuyauteries est assurée avec une pompe nommée aussi circulateur dans le cas du chauffage central. Cette configuration est indispensable lorsque le diamètre de la tuyauterie est réduits ce qui est le cas le plus général aujourd'hui vu que cela diminué l'encombrement de l'installation

4. à circulation naturelle

La circulation de l'eau dans une chaudière à tube d'eau est particulièrement importante pour éviter la formation des zones sèches où le métal est susceptible de fondre sous l'effet de la chaleur (radiation). Dans les chaudières à circulation naturelle, l'eau d'appoint (eau froide) est introduite dans un ballon supérieur, vu que la densité de cette eau est plus grande que celle de l'eau plus chaude déjà existante, elle va descendre naturellement par différence de densité. Durant cette descente, elle commence à prendre la chaleur jusqu'à atteindre une zone où elle devient particulièrement chaude et sa densité bien plus faible, dans ce cas, elle monte et revient au ballon dans lequel elle a été introduite. Ce mouvement parcouru par l'eau (on peut imaginer la trajectoire d'une seule goutte) n'était pas obtenu avec une pompe : pour cela, il est nommé : à circulation naturelle.

Tableau 4.11 Coefficient d'exposition e du local chauffé.

Classe d'exposition	e		
Site non abrité (bâtiments en zone ventrée, bâtiments de grande hauteur en centre ville)	0	0,03	0,05
Site modérément abrité (bâtiments en compagnie protégés par des arbres ou par d'autres bâtiments, banlieues)	0	0,02	0,03
Site très abrité (bâtiments de taille moyenne en centre-ville, bâtiments en forêt)	0	0,01	0,02

Tableau 4.12 Facteur correctif de hauteur ε

Hauteur de l'espace chauffé au-dessus du sol (du centre du local au niveau du sol)	ε
0 – 10 m	1,0
> 10 – 30 m	1,2
> 30 m	1,5

4.4 Calcul et dimensionnement des radiateurs

La puissance des radiateurs pour une installation de chauffage se calcule par pièce et selon la taille de la pièce il faut prévoir un à deux radiateurs afin que la chaleur soit homogène. Le calcul dépend des conditions extérieures notamment la température minimale de la région en hivers. La puissance des radiateurs dépend évidemment du volume des pièces, de la température souhaitée mais aussi beaucoup de l'isolation de l'habitation. Pour un chauffage basse température (chauffage au sol par exemple), la puissance doit être plus élevée d'environ 20 %.

4.4.1 Calcul de la puissance nécessaire dans un local

La puissance émissive des radiateurs doit être égale aux déperditions du local qui sont calculées par la formule suivante :

$$\text{Déperditions} = \text{Coef } U_{\text{bat}} \times V \times [T_{\text{a}} - T_{\text{e}}]$$

4.4 Calcul et dimensionnement des radiateurs

- ▶ V : volume du local en m^3 ;
- ▶ T_a : température ambiante de confort en $^{\circ}\text{C}$;
- ▶ T_e : température extérieure de base en $^{\circ}\text{C}$;
- ▶ U_{bat} : coefficients choisis en fonction des normes d'isolation lors de la construction des maisons données dans le tableau 4.13.

Tableau 4.13 Valeurs de U_{bat}

U_{bat}	Type des maisons
2	maison ancienne sans isolation
1,5	Maison ancienne avec isolation
1,1	Maison d'après 1990
0,9	Maison RT 2000
0,8	Maison RT 2005
0,6	Maison avec une très bonne isolation
0,4	Maison bioclimatique

4.4.2 Régime de température d'eau

Pour choisir un radiateur, il faut adapter sa taille à la température d'eau fournie par l'équipement. En effet la puissance effective d'un radiateur dépend de la température de l'eau qui y circule.

Il existe plusieurs régimes de température :

- ▶ 90/70 (haute température - ancienne chaudière) ;
- ▶ 80/60 ;
- ▶ 75/65 (basse température - nouvelle chaudière - norme EN 442) ;
- ▶ 35/27 (très basse température - chauffage surfacique).

Selon la norme européenne EN 442, un équipement de chauffage (chaudière, radiateur ou batterie de chauffage) est dimensionné en régime « 75/65 ». Cela signifie que si on choisit un radiateur de 2 000 W dimensionné en régime 75/65, l'eau entre dans le radiateur à 75°C , qu'elle cède 2 000 W de chaleur pour un local à 20°C , et sort avec une température de 65°C .

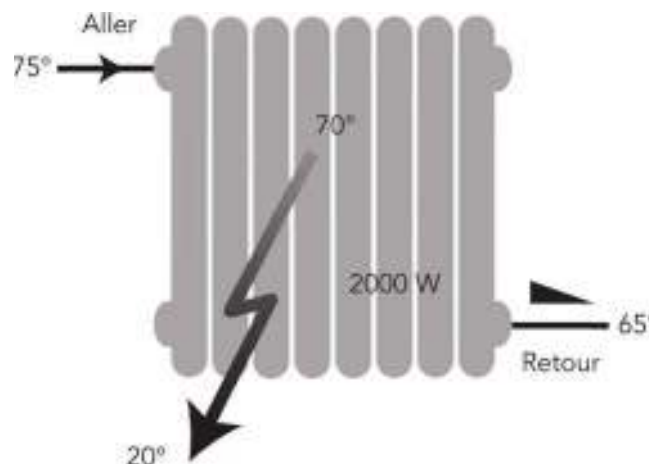


Figure 4.6 Régime 76/65

Basée sur la norme EN 442, la puissance thermique nominale des radiateurs est déterminée en chambre d'essai avec un ΔT défini comme suit :

$$\Delta T = \frac{T_{\text{entrée de l'eau}} + T_{\text{sortie de l'eau}}}{2} - T_{\text{ambiante}} = \frac{75 + 65}{2} - 20 = 50^\circ\text{C}$$

La variation de la puissance thermique d'un radiateur avec un ΔT différent de 50°C peut être évaluée à partir de formule de calcul suivante :

$$P_{e_1} = \frac{P_e}{\left[\frac{\Delta T}{50} \right]^{1,3}}$$

- P_e : puissance chauffage du radiateur à installer (Déperditions majorée de la surpuissance si nécessaire) sans tenir compte du régime de température du fluide chauffant et de la température ambiante ;
- P_{e_1} : puissance corrigée du radiateur équivalente sur la base d'un ΔT de 50 K (valeurs indiquées généralement dans les catalogues des fournisseurs de radiateurs) ;
- 1,3 : valeur de l'exposant prise par défaut. Sinon il est préférable de prendre celle indiquée par le fabricant ;
- ΔT : différence de température entre la température moyenne de l'eau dans le radiateur et la température ambiante du local.

Cas pratique

On considère un salon et une chambre d'une maison (RT 2005), dans lesquels nous souhaitons installer un radiateur à eau chaude dans chacune d'elles. Nous souhaitons obtenir des températures de confort qui sont de 20 °C pour le salon et 18 °C pour la chambre.

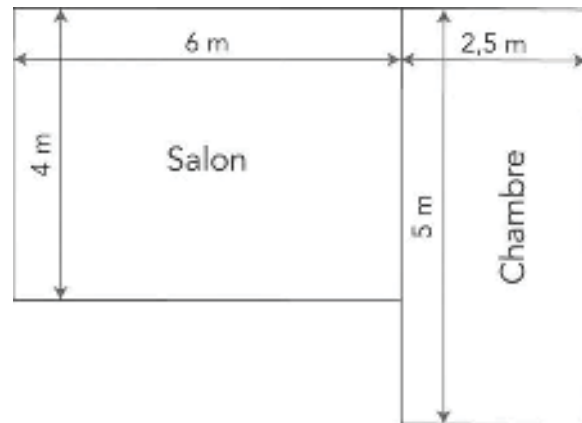


Figure 4.7 Plan des locaux

Calcul des déperditions

$U_{\text{bat}} = 0,8$ (maison RT 2005)

Température extérieure de base = -5 °C

$$\text{Déperditions salon} = 0,8 \times [6,00 \times 4,00 \times 2,80] \times [20 - (-5)] = 1344 \text{ W}$$

$$\text{Déperditions chambre} = 0,8 \times [5,00 \times 2,50 \times 2,80] \times [18 - (-5)] = 644 \text{ W}$$

Nous prendrons un coefficient de sécurité de 20 % pour une installation classique, on obtient alors :

$$\text{Déperditions salon} = 1344 \text{ W} + 20 \% = 1620 \text{ W}$$

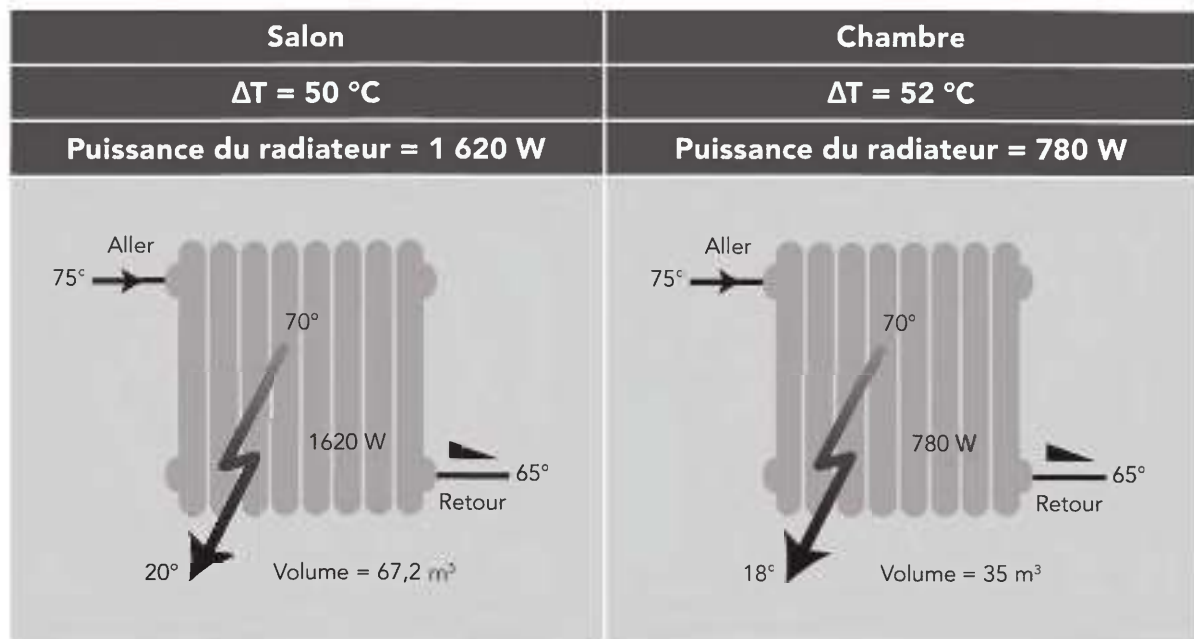
$$\text{Déperditions chambre} = 644 \text{ W} + 20 \% = 780 \text{ W}$$

Régime de température d'eau

On choisit un régime d'eau 75/65, on obtient alors :

$$\Delta T_{\text{salon}} = \frac{75 + 65}{2} - 20 = 50^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{chambre}} = \frac{75 + 65}{2} - 18 = 52^\circ\text{C}$$



Choix du modèle des radiateurs

Il existe plusieurs épaisseurs, hauteurs et longueurs de radiateurs fonte ou acier. Pour déterminer les dimensions d'un radiateur fonte, il faut tout simplement mesurer, sur plan ou physiquement, l'emplacement défini pour ce dernier. Le tableau suivant pris à partir de la fiche technique du fournisseur permet de choisir le modèle de radiateur en fonction des dimensions et de ΔT .

Modèles	Hauteur sans pied mm	Largeur éléments mm	Epaisseur éléments mm	Poids Kg	Contenance en eau l	Emission W $\Delta T = 50\text{ °C}$	Emission W $\Delta T = 52\text{ °C}$
S2	480	65	65	3,09	0,56	53,8	57,2
	630	65	65	3,77	0,68	65,4	68,6
	780	65	65	4,44	0,82	84,0	87,5
	900	65	65	5,02	0,92	97,4	100,4
S3	480	65	102	4,07	0,71	75,5	79,5
	630	65	102	5,15	0,87	95,3	99,1
	780	65	102	6,24	1,06	115,0	120,1
	900	65	102	7,14	1,18	132,0	135,8
S4	480	65	142	5,22	0,92	93,6	97,4
	630	65	142	6,62	1,13	119,0	123,9
	780	65	142	8,02	1,36	144,0	149,2
	900	65	142	9,17	1,53	165,0	169,6
S6	285	65	223	5,16	0,93	79,8	78,5

4.4 Calcul et dimensionnement des radiateurs

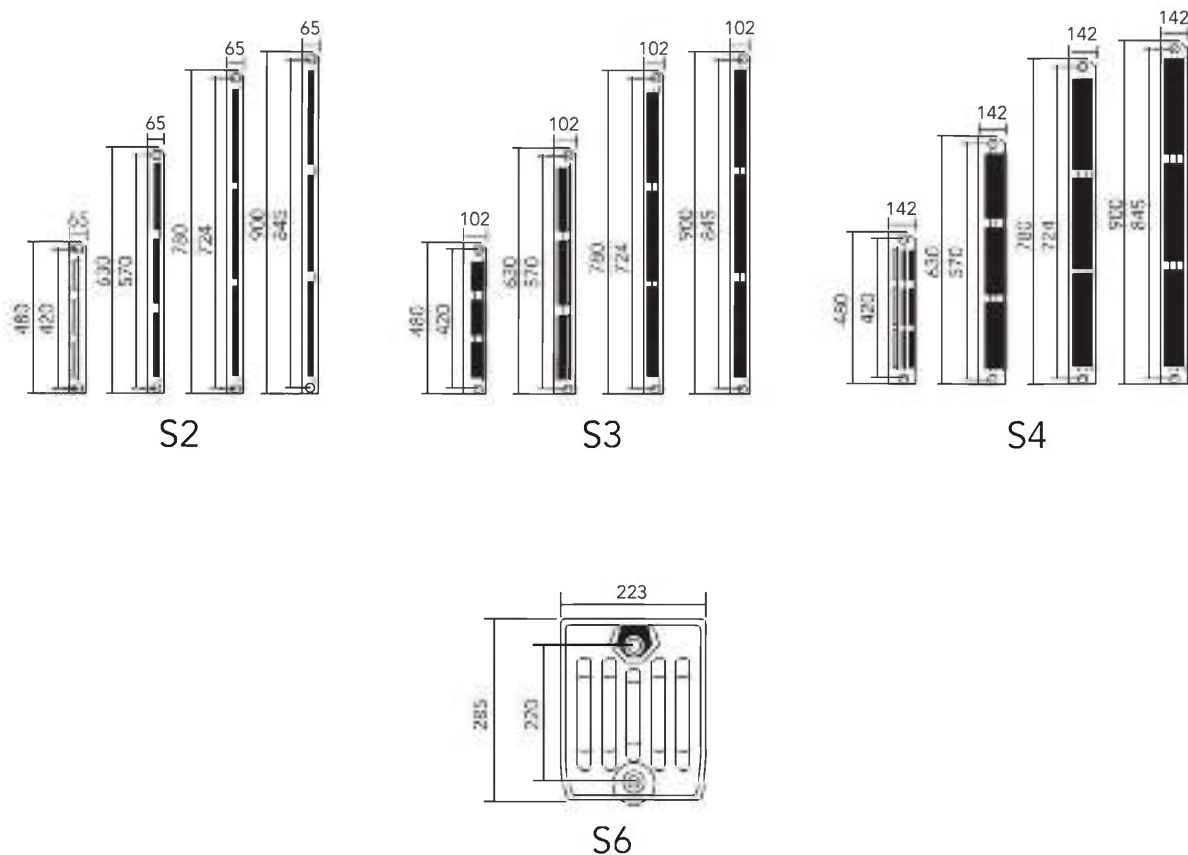


Figure 4.8 Dimensions des radiateurs

Pour notre exemple, nous choisirons des radiateurs en fonte à façade plane.

Pour le salon, nous prendrons une hauteur de 780 mm (modèle S3).

Pour la chambre où le radiateur sera sous une fenêtre, nous en prendrons un radiateur d'une hauteur de 630 mm (modèle S2).

Nombre d'éléments d'un radiateur

Le nombre des éléments du radiateur est déterminé en fonction de la puissance à installer et de la puissance d'un élément du radiateur donnée dans le tableau ci-dessus :

$$N_{\text{salon}} = \frac{1620}{117,8} = 13,75 ; 14 \Rightarrow P_{\text{installée}} = 14 \times 117,8 = 1649,2 \text{ W}$$

$$N_{\text{chambre}} = \frac{780}{75,2} = 10,37 ; 12 \Rightarrow P_{\text{installée}} = 12 \times 75,2 = 902,4 \text{ W}$$

Débit des radiateurs

Pour déterminer le débit des radiateurs, il faut exprimer la puissance en kilocalories sachant que :

$$P_{(kCal/h)} = \frac{P_{(W)}}{1,16}$$

$$Q_{salon} = \frac{P_{(kCal/h)}}{T_{retour} - T_{aller}} = \frac{\frac{1649,2}{1,16}}{75 - 65} = \frac{1422}{10} = 142,2 \text{ L/h ; } 143 \text{ L/h}$$

$$Q_{salon} = \frac{P_{(kCal/h)}}{T_{retour} - T_{aller}} = \frac{\frac{902,4}{1,16}}{75 - 65} = \frac{778}{10} = 77,8 \text{ L/h ; } 78 \text{ L/h}$$

Volume d'eau du radiateur

Pour déterminer le volume d'eau du radiateur, il faut connaître le volume d'eau d'un élément à partir du tableau fournisseur, on aura donc :

$$V_{d'eau \text{ du radiateur}} = V_{d'eau \text{ d'un élément}} \times N_{élément}$$

$$V_{d'eau \text{ du radiateur salon}} = 1,016 \times 14 = 14,224 \text{ litres}$$

$$V_{d'eau \text{ du radiateur chambre}} = 0,685 \times 12 = 8,22 \text{ litres}$$

Diamètre du tube d'alimentation du radiateur

Les diamètres d'alimentation du radiateur sont donnés dans le tableau suivant en fonction du débit :

Débit	De 0 à 90 l/h	De 90 à 150 l/h	De 150 à 200 l/h
Diamètre tube cuivre	12 × 1	14 × 1	16 × 1
Le diamètre des tubes acier sera équivalent au diamètre de la robinetterie			

4.4 Calcul et dimensionnement des radiateurs

Pour le salon, nous avons trouvé un débit de 143 l/h donc d'après de tableau nous choisirons un diamètre d'alimentation de 14 × 1 (les raccords seront de 1/2" - 14).

Pour la chambre, nous avons trouvé un débit de 78 l/h donc d'après de tableau nous choisirons un diamètre d'alimentation de 12 × 1 (les raccords seront de 3/8" - 12).

Diamètre de la tuyauterie d'alimentation principale

Pour calculer le diamètre de la tuyauterie d'alimentation principale, il faut commencer par calculer le débit d'eau par la relation suivante :

$$Q = \frac{P_{(kCal)}}{\Delta T} = \frac{1421,5 + 777,58}{75 - 65} = 220 \text{ L/h} = 6,11 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Or la section du tube (pour une vitesse moyenne de 0,5 m/s) est calculée par la formule suivante :

$$S = \frac{Q}{V} = \frac{6,11 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{0,5 \text{ m/s}} = 1,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{or } d = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1,22 \cdot 10^{-4}}{\pi}} = 0,01247 \text{ m} = 12,47 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow d = 13 \text{ mm}$$

On choisit un tube de cuivre 16 × 1 ou un tube d'acier de 1/2" (15-21).

Fixation des radiateurs

La fixation des éléments du radiateur est réalisée à l'aide des pieds amovibles comme indique la figure 4.9.

Tableau N°1 : Caractéristiques de l'air

Température	Pression de saturation	Humidité absolue	Température	Pression de saturation	Humidité absolue
°C	Pa	g/Kg	°C	Pa	g/Kg
-3	476	2.93	14	1598	9.96
-2	517	3.18	15	1704	10.60
-1	563	3.47	16	1817	11.40
0	611	3.77	17	1937	12.10
1	657	4.06	18	2063	12.90
2	705	4.36	19	2197	13.80
3	758	4.68	20	2337	14.17
4	813	5.03	21	2486	15.60
5	872	5.40	22	2643	16.60
6	934	5.79	23	2809	17.70
7	1001	6.21	24	2983	18.90
8	1073	6.65	25	3166	20.10
9	1148	7.12	26	3360	21.30
10	1227	7.62	27	3564	22.70
11	1312	8.16	28	3779	24.10
12	1402	8.72	29	4004	25.60
13	1497	9.32	30	4242	27.20

TABLEAU N°2: MAJORATION Z_D

Mode d'exploitation	Coefficient D	0.1 à 0.29	0.30 à 0.69	0.70 à 1.49	1.5
I	Exploitation réduite .	7	7	7	7
II	Interruption de 9 à 12h de durée.	20	15	15	15
III	Interruption de 12 à 16h de durée.	30	25	20	15

TABLEAU N°3: MAJORATION Z_H

Orientation	S	SO	O	NO	N	NE	E	SE
Majoration Z_H	-5	-5	0	+5	+5	+5	0	-5

TABLEAU N°4: PERMEABILITE DES JOINTS a

Fenêtres en bois et en matière synthétique.	Fenêtres simples.	3.0
	Fenêtres composées.	2.5
	Fenêtres doubles et fenêtres simples avec étanchéité garantie.	2
Fenêtres en acier et fenêtres métalliques.	Fenêtres simples.	1.5
	Fenêtres composées.	1.5
	Fenêtres doubles et fenêtres simples avec étanchéité garantie.	1.2
Portes intérieures	Non étanches(sans seuil).	40
	Etanches (avec seuil).	15
Portes extérieures	Comme les fenêtres.	-

TD N° 1

EXERCICE N°1 :

Soit les caractéristiques techniques d'un mur d'un bureau;

N°	Structure	e	λ	h_i	π
		cm	Kcal /hm°C	Kcal /hm ² °C	g/mh mmHg
-	Air intérieur	-	-	7	-
1	Enduit de plâtre	1.5	0.60	-	0.0225
2	Brique creuse	10	0.48	-	0.014
3	Polystyrène	4	0.05	-	-
4	Brique creuse	15	0.40	-	0.014
5	Mortier en ciment	1.5	1.20	-	0.005
-	Air extérieur	-	-	20	-

π : Perméabilité λ : Coef. de conductivité thermique, e : Epaisseur, h_i : Coef. de convection.

Calculer le coefficient global de transfert de chaleur.

EXERCICE N°2 :

Soit les caractéristiques techniques d'un mur d'un bureau;

N°	Structure	e	λ	h_i	π
		cm	Kcal /hm°C	Kcal /hm ² °C	g/mh mmHg
-	Air intérieur	-	-	7	-
1	Enduit de plâtre	1.5	0.60	-	0.0225
2	Brique creuse	10	0.48	-	0.014
3	Lame d'air	5	-	-	0.09
4	Brique creuse	15	0.40	-	0.014
5	Mortier en ciment	1.5	1.20	-	0.005
-	Air extérieur	-	-	20	-

: λ : Coef. de conductivité thermique, e : Epaisseur, h_i : Coef. De convection.

π Perméabilité

1. Calculer le coefficient global de transfert de chaleur.
2. Calculer les températures dans chaque couche, tel que $T_i=20^\circ\text{C}$, $T_e=15^\circ\text{C}$
3. Calculer le flux de chaleur échangé avec le milieu extérieur

TD N° 2

EXERCICE N°1 :

Soit un mur d'un bureau (Figure N°1) ;

1. Montrer pour l'absence de condensation superficielle l'inégalité suivante:

$$R_p > R_{\min} \quad \text{Avec :}$$

$$R_{\min} = \frac{T_i - T_e}{T_i - T_r} \times \frac{1}{h_i}$$

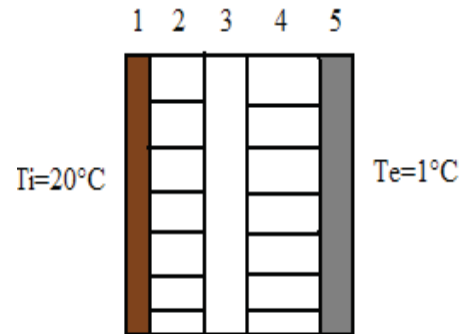


Figure N° 1

T_i, T_e : Température de milieu intérieure et extérieure respectivement en ($^{\circ}\text{C}$).

T_r : Température au point de rosé en ($^{\circ}\text{C}$).

R_p, R_{\min} : Résistances de la paroi et minimale respectivement en ($\text{hm}^2\text{C/Kcal}$).

h_i : Coefficient superficiel d'échange thermique en ($\text{Kcal /hm}^2\text{C}$).

EXERCICE N°2 :

Soit un mur d'un bureau (Figure N°1) composé de: (voir le tableau ci-dessous)

N°	Structure	e	λ	h_i	π
		cm	Kcal /hm $^{\circ}\text{C}$	Kcal /hm ^2C	g/mh mmHg
-	Air intérieur	-	-	7	-
1	Enduit de plâtre	1.5	0.60	-	0.0225
2	Brique creuse	10	0.48	-	0.014
3	Lame d'air	5	-	-	0.09
4	Brique creuse	15	0.40	-	0.014
5	Mortier en ciment	1.5	1.20	-	0.005
-	Air extérieur	-	-	20	-

π : Perméabilité λ : Coef. de conductivité thermique, e : Epaisseur, h_i : Coef. convection.
 $\phi_i=50\%$, $\phi_e=80\%$, Lieu:Médéa.

1. Calculer la température superficielle interne.
2. Calculer les températures dans chaque couche.
3. Calculer la température superficielle externe.

4. Calculer la résistance minimale de la paroi.
5. Vérifier l'absence ou la présence de la condensation superficielle.

TD N°3

EXERCICE N°1 :

Reprenons les données de l'exercice n°2 TD N°2, on demande de:

1. Déterminer les pressions de saturation dans chaque couche.
2. Déterminer les pressions partielles dans chaque couche.
3. Calculer la perméance dans chaque couche.
4. Tracer le diagramme de GLAZER.
5. Déduire la présence ou l'absence de la condensation dans la masse.

EXERCICE N°1 :

On veut chauffer un restaurant dont les déperditions calorifiques sont égales à 2000 Kcal/h, les apports de chaleur internes sont égaux à 200 Kcal/h,

1. Déterminer la surface du corps de chauffe pour le régime d'eau : 70°C/90°C et $\Delta t = 20^\circ\text{C}$.
2. Déterminer la surface du corps de chauffe pour le régime d'eau surchauffé et $\Delta t > 20^\circ\text{C}$

Tel que ;

- $\Delta t = t_i - t_e$; Différence de température entre le milieu intérieure et extérieur respectivement exprimé en $^\circ\text{C}$.
- $K = 5 \text{ Kcal/hm}^2\text{°C}$: Coefficient globale de transfert thermique du corps de chauffe.

TD N° 4

EXERCICE N°1:

Calculer les besoins calorifiques d'un bureau situé au rez-de-chaussée d'un immeuble à Médéa.

Les données :

- $K_{\text{porte}} = 2 \text{ Kcal/hm}^2\text{°C}$
- $K_{\text{mur int.}} = 1.9 \text{ Kcal/hm}^2\text{°C}$
- $K_{\text{mur ext.}} = 1.0 \text{ Kcal/hm}^2\text{°C}$
- Hauteur du local: $H = 3 \text{ m}$
- Site découvert
- Maison d'alignement
- Fenêtre simple
- $K_{\text{fenêtre}} = 4 \text{ Kcal/hm}^2\text{°C}$
- $K_{\text{plafond}} = 1.8 \text{ Kcal/hm}^2\text{°C}$
- $K_{\text{plancher}} = 0.80 \text{ Kcal/hm}^2\text{°C}$
- $T_i = 20 \text{ °C}$, $T_e = 0 \text{ °C}$
- Région normale
- Fenêtre et porte en bois étanche

